Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences | Science

**S C C S** | **C S A S**

**Secrétariat canadien de consultation scientifique** | **Canadian Science Advisory Secretariat**

**Document de recherche 2012/094** | **Research Document 2012/094**

**Région du Québec** | **Québec region**

# Évaluation des impacts potentiels de la pêche au chalut à la crevette nordique (*Pandalus borealis*) sur les habitats benthiques de l'estuaire et du nord du golfe du Saint-Laurent

# Assessment of the potential impacts of northern shrimp (*Pandalus borealis*) trawl fishing on benthic habitats in the Estuary and northern Gulf of St. Lawrence

Mélanie Lévesque[1], Louise Savard[2], Charlotte Moritz[1] et/and Philippe Archambault[1]

[1] Institut des Sciences de la Mer
310 allée des Ursulines
Rimouski (Québec)
G5L 3A1

[2]. Direction régionale des Sciences / Regional Science Branch
Pêches et des Océans Canada / Fisheries and Oceans Canada
Institut Maurice-Lamontagne / Maurice Lamontagne Institute
850 route de la mer
Mont-Joli (Québec)
G5H 3Z4

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

This series documents the scientific basis for the evaluation of aquatic resources and ecosystems in Canada. As such, it addresses the issues of the day in the time frames required and the documents it contains are not intended as definitive statements on the subjects addressed but rather as progress reports on ongoing investigations.

Les documents de recherche sont publiés dans la langue officielle utilisée dans le manuscrit envoyé au Secrétariat.

Research documents are produced in the official language in which they are provided to the Secretariat.

Ce document est disponible sur l'Internet à: This document is available on the Internet at:
http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1499-3848 (Imprimé / Printed)
ISSN 1919-5044 (En ligne / Online)
© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2012
© Her Majesty the Queen in Right of Canada, 2012
Canada

**La présente publication doit être citée comme suit :**
**Correct citation for this publication:**

Lévesque M., Savard, L., Moritz, C et Archambault, P. 2012. Évaluation des impacts potentiels de la pêche au chalut à la crevette nordique (*Pandalus borealis*) sur les habitats benthiques de l'estuaire et du nord du golfe du Saint-Laurent. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2012/094. ii + 28 p.

Lévesque M., Savard, L., Moritz, C. and Archambault, P. 2012. Assessment of the potential impacts of northern shrimp (*Pandalus borealis*) trawl fishing on benthic habitats in the Estuary and northern Gulf of St. Lawrence. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/094. ii + 28 p.

## RÉSUMÉ

Ce document présente les informations qui peuvent être utilisées pour déterminer les endroits où une activité de pêche soutenue au chalut à la crevette nordique pourrait avoir un impact majeur sur les habitats benthiques en général et sur les écosystèmes marins vulnérables en particulier. La crevette nordique est retrouvée principalement dans les chenaux à des profondeurs variant de 200 à 300 m où les sédiments sont fins et consolidés et où les perturbations naturelles ont peu d'impact sur l'habitat et les organismes biologiques. La majorité des sites de pêche qui ont subi un chalutage régulier et intensif sont situés entre 200 et 300 m de profondeur, dans les chenaux Esquiman et Anticosti et le long des deux versants du chenal Laurentien, à partir de l'extrémité est de l'île d'Anticosti jusque dans l'estuaire. Ces secteurs sont moins favorables à l'établissement d'une épifaune benthique hautement diversifiée. L'impact cumulatif du chalutage à la crevette a probablement été faible sur les champs de plumes de mer puisque les profondeurs ciblées par la pêche ne correspondent pas aux profondeurs optimales pour l'établissement de champs de plumes de mer. Les concentrations importantes d'éponges sont réparties sur tout le territoire et les activités régulières de pêche semblent avoir altéré leur distribution.

## ABSTRACT

This document outlines the information that can be used to identify sites where sustained northern shrimp trawl fishing could have amajor impact on benthic habitats in general and on vulnerable marine ecosystems in particular. Northern shrimp are found mainly in channels at depths of 200 to 300 m where sediment is fine and consolidated and where natural disturbances have minimal impact on habitat and biological organisms. The majority of fishing sites subjected to regular and intensive trawling are located at depths of 200 to 300 m in the Esquiman and Anticosti channels and along the two slopes of the Laurentian Channel between the eastern end of Anticosti Island and the estuary. These areas are less suitable for the establishment of highly diverse benthic epifauna. The cumulative impact of shrimp trawling has likely been minimal on sea pen fields since the depths targeted by fishing are n[illegible] optimal depths for the establishment of sea pen. Significant concentrations of sponges are distributed throughout the area and regular fishing activities appear to have affected sponge distributions.

## INTRODUCTION

Dans les écosystèmes marins, la pêche commerciale est l'une des activités anthropiques pouvant avoir les conséquences écologiques les plus marquées sur les habitats. La sensibilisation aux impacts environnementaux résultants de la pêche commerciale n'est pas récente (Graham 1955, Van Dolah *et al.* 1987). Les impacts sur les stocks de poissons (Myers *et al.* 1997, Mullon *et al.* 2005, Worm *et al.* 2006) et sur les prises accidentelles (Lewinson *et al.* 2004, Ford *et al.* 2008, Beutel *et al.* 2008), ainsi que l'effet des différents engins de pêche sur les fonds marins et sur les communautés benthiques (Jenning et Kaiser 1998, Collie *et al.* 2000, Thrush et Dayton 2002, Kaiser *et al.* 2006, Kenchington *et al.* 2006) sont régulièrement évalués par les scientifiques et les gestionnaires des pêcheries.

La pêche à la crevette nordique (*Pandalus borealis*) dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent (ENGSL) a débuté dans les années 1960 (Savard *et al.* 2003). L'exploitation est effectuée par des chalutiers dans quatre zones de pêche à la crevette (ZPC) et est soumise à plusieurs mesures de gestion dont le contrôle des prises par un total admissible des captures (TAC) pour chacune des quatre zones (MPO 2012a). La pêche à la crevette de l'ENGSL a été certifiée durable et bien gérée selon les critères du *Marine Stewardship Council* pour la pêche sauvage (2012). Cependant, le certificat inclut des conditions qui portent sur l'impact du chalutage. En effet, il est stipulé que les effets significatifs de la pêche sur l'écosystème doivent être identifiés et quantifiés.

Conformément à la *Politique de gestion de l'impact de la pêche sur les zones benthiques vulnérables*, le ministère des Pêches et des Océans (MPO) favorise une pêche responsable qui vise à atténuer les impacts sur l'habitat partout où cela est biologiquement justifiable et rentable (MPO 2012b). Ce document présente les informations qui permettront de déterminer les impacts potentiels de la pêche à la crevette

## INTRODUCTION

In marine ecosystems, commercial fishing is one of the anthropogenic activities that could have the most significant ecological consequences on habitats. This awareness of the environmental impact caused by the commercial fishery is not recent (Graham 1955, Van Dolah et al. 1987). Whether for its impact on fish stocks (Myers et al. 1997, Mullon et al. 2005, Worm et al. 2006) or on bycatches (Lewinson et al. 2004, Ford et al. 2008, Beutel et al. 2008) or for the effects of the various fishing gears on the seafloor and benthic communities (Jenning and Kaiser 1998, Collie et al. 2000, Thrush and Dayton 2002, Kaiser et al. 2006, Kenchington et al. 2006), the fisheries continue to be monitored closely by a great number of scientists and fishery managers.

The northern shrimp (*Pandalus borealis*) fishery in the Estuary and northern Gulf of the St. Lawrence (ENGSL) started in the 1960s (Savard et al. 2003). Fishing is conducted by trawlers in four shrimp fishing areas (SFAs) and regulated by a number of management actions, including the setting of a total allowable catch (TAC) in each of the four areas (DFO 2012a). The shrimp fishery in the ENGSL has been certified as sustainable and well managed according to the *Marine Stewardship Council* criteria for wild fisheries (2012). However, certification includes some conditions relating to the impact of trawling: it is stipulated that any significant effects of fishing on the ecosystem are to be identified and quantified.

In compliance with its *Policy for Managing the Impact of Fishing on Sensitive Benthic Areas*, the Department of Fisheries and Oceans (DFO) promotes responsible fishing aimed at mitigating impacts on habitat wherever biologically justifiable and cost-effective (DFO 2012b). This document outlines information that can be used to determine the potential impacts of the shrimp

sur l'habitat et les communautés benthiques. Trois objectifs sont poursuivis dans ce document: 1) déterminer et caractériser la distribution des communautés benthiques en lien avec des variables environnementales; 2) déterminer la distribution des espèces benthiques sensibles au passage des engins de pêche mobile; et 3) déterminer les endroits où une activité de pêche soutenue pourrait avoir un impact majeur sur les habitats benthiques en général et sur les écosystèmes marins vulnérables en particulier. Les zones de fortes concentrations de coraux et d'éponges sont examinées puisqu'on considère que ces organismes sont très sensibles aux perturbations de leur habitat et qu'ils sont associés aux communautés benthiques les plus vulnérables. Des données sur la diversité de l'épifaune sont disponibles entre 2006 et 2009 et peuvent être utilisées pour déterminer la distribution des habitats et des communautés benthiques dans l'ENGSL.

fishing on benthic habitat and communities. Three objectives are targeted in this document: 1) to determine and characterize the distribution of benthic communities in relation to environmental variables; 2) to determine the distribution of benthic species sensitive to the passage of mobile fishing gear; and 3) to identify sites where sustained fishing could have major impact on benthic habitats in general and on vulnerable marine ecosystems in particular. Areas with high concentrations of corals and sponges are examined since these organisms are found to be highly sensitive to habitat disturbances and associated with the most sensitive benthic communities. Data on epifauna diversity have been available between 2006 and 2009 and can assist in determining the distribution of benthic habitats and communities in the ENGSL.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

## MATERIAL AND METHODS

### ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude correspond aux quatre zones de pêche à la crevette nordique de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (MPO 2012a). Il y a peu ou pas de concentrations de *Pandalus borealis* au sud du chenal Laurentien si bien que l'exploitation commerciale s'est développée essentiellement dans le nord du golfe et dans l'estuaire (Savard *et al.* 2003). Les fonds traditionnels de pêche sont situés entre 200 et 300 m de profondeur (Figure 1). D'une façon générale, les données d'effort de pêche disponibles depuis 1982 indiquent que le chalutage a été régulier et occasionnel dans le chenal Esquiman au nord du 49,5° de latitude, dans le chenal Anticosti à l'ouest du 60° de longitude et le long des deux versants du chenal Laurentien jusque dans l'estuaire (Savard 2012).

### STUDY AREA

The study area corresponds to the four northern shrimp fishing areas in the Estuary and Gulf of the St. Lawrence (DFO 2012a). Few to no concentrations of *Pandalus borealis* are found south of the Laurentian Channel to the point that the commercial fishery has developed almost exclusively in the northern Gulf and Estuary (Savard et al. 2003). Traditional fishing grounds are located at depths of 200 to 300 m (Figure 1). Based on the data on fishing effort available since 1982, trawling has generally been regular and occasional in the Esquiman Channel north of the 49.5° of latitude, the Anticosti Channel west of 60° longitude and along the two slopes of the Laurentian Channel as far as the Estuary (Savard 2012).

## DISTRIBUTION DES ESPÈCES SENSIBLES

Un document de recherche du MPO publié en 2010 (Kenchington *et al.* 2010) a permis de délimiter les concentrations d'espèces benthiques sensibles (plumes de mer et éponges) dans l'ENGSL. Les données utilisées pour produire la distribution de ces organismes benthiques proviennent des missions de chalutage menées dans le golfe entre 2004 (pour les plumes de mer) ou 2006 (pour les éponges) et 2009. Les coraux sont représentés par plusieurs taxons dont la moitié est des coraux mous de l'ordre des Alcyonaires qui ne sont pas considérés comme des espèces vulnérables. Les plumes de mer et les gorgones sont considérés comme sensibles mais seules les plumes sont assez abondantes pour être répertoriées. Aucune espèce de corail noir n'a été capturée lors des relevés analysés. Toutes les éponges sont considérées comme un seul taxon. Les travaux ont déterminé des seuils de biomasse à partir desquels les concentrations de plumes et éponges sont considérées importantes. Les concentrations importantes de plumes de mer se situent exclusivement en zone profonde dans le chenal Laurentien alors que les fortes concentrations d'éponges sont réparties en agrégations sur l'ensemble de la zone (Figure 2). Il est à noter que les concentrations de plumes de mer dans le chenal Laurentien sont considérées uniques parce que leur densité est plus de 10 fois supérieure à ce qui est observé dans l'Atlantique canadien (E. Kenchington, communication personnelle).

## DONNÉES SUR L'ÉPIFAUNE BENTHIQUE

Les données de distribution de l'épifaune benthique proviennent des missions de chalutage réalisées par le MPO dans l'ENGSL entre 2006 et 2009 à l'aide du chalut à crevette Campelen (Figure 3). On considère que ce type de chalut est relativement efficace pour récolter des organismes benthiques puisque la rallonge et le cul ont une doublure d'une maille de 12,7 mm ce qui permet de retenir des organismes de

## DISTRIBUTION OF SENSITIVE SPECIES

A DFO research document published in 2010 (Kenchington et al. 2010) is used to delineate the concentrations of sensitive benthic species (sea pens and sponges) in the ENGSL. The data used to generate the distribution of these benthic organisms were taken from trawling operations carried out in the Gulf between 2004 (for sea pens) or 2006 (for sponges) and 2009. Corals are represented by multiple taxa, half of which corresponded to soft corals from the subclass Alcyonaria and are not considered to be sensitive species. Both sea pens and gorgonians are classified as sensitive, but only sea pens are sufficiently abundant to allow for surveying. No species of black coral were collected during the surveys subject to study. All sponges were classified into a single taxonomic group. Using the survey data, biomass thresholds were defined above which sea pen and sponge concentrations are considered high. The high concentrations of sea pens are found exclusively in deep areas in the Laurentian Channel, whereas the high concentrations of sponges are distributed in aggregations throughout the study range (Figure 2). It is to be noted that sea pen concentrations in the Laurentian Channel are deemed unique in that their density is more than 10 times that observed in the Canadian Atlantic (E. Kenchington, personal communication).

## DATA ON BENTHIC EPIFAUNA

Data on the distribution of benthic epifauna were taken from trawling operations carried out by DFO in the ENGSL between 2006 and 2009 using a Campelen shrimp trawl (Figure 3). This trawl type is viewed as relatively efficient at collecting benthic organisms in that its lengthening piece and cod-end are lined with 12.7 mm mesh to support the capture of very small individuals.

très petite taille. La zone d'échantillonnage couverte par la mission estivale incorpore l'estuaire et du nord du Golfe (pour les strates plus profondes que 183 m ou 100 brasses). Le relevé est réalisé en suivant un plan d'échantillonnage aléatoire stratifié. La durée standard pour un trait de chalut est de 15 minutes et les opérations de pêche se déroulent 24 heures par jour. Une description du protocole de pêche et d'échantillonnage du relevé est présentée dans Bourdages *et al.* (2010).

The sampling area for the summer operation covered the Estuary and northern Gulf (for strata deeper than 183 m or 100 fathoms). The survey follows a stratified random sampling plan. The standard trawl tow duration is 15 minutes, and fishing operations were conducted 24 hours a day. An outline of the fishing and sampling protocol for the survey is presented in Bourdages et al. (2010).

À chaque trait de pêche, les captures de l'épifaune benthique ont été triées et identifiées au taxon le plus précis possible. Le poids et le nombre d'individus ont également été notés. Les espèces benthiques difficiles à identifier à bord ont été préservées dans une solution d'éthanol (concentration 70 %) ou congelées pour une identification ultérieure en laboratoire. L'identification de chaque taxon a par la suite été validée à l'aide de deux sites internet de taxonomie reconnus: Integrated Taxonomic Information System (www.itis.gov) et World Register of Marine Species (www.marinespecies.org). La liste des taxons inventoriés pour la présente étude est présentée à l'annexe 1.Les biomasses de la macrofaune benthique sont exprimées en kg/trait.

All benthic epifauna captured in each tow were identified to the closest possible taxon. Weights and numbers of individuals were also documented. Benthic species that were difficult to identify on board were preserved in an ethanol (70% concentration) solution or frozen for subsequent identification in the laboratory. Identification of each taxon was then confirmed using two recognized taxonomy websites: Integrated Taxonomic Information System (www.itis.gov) and World Register of Marine Species (www.marinespecies.org). The list of taxa inventoried for this study is set out in Appendix 1. Biomasses of benthic macrofauna are expressed in kg/tow.

## DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

Un appareil CTD SeaBird a été déployé à plus de la moitié des stations d'échantillonnage du relevé de recherche entre 2006 et 2009. Des informations sur les caractéristiques de la colonne d'eau ont pu ainsi être recueillies (profondeur, conductivité, oxygène dissous, température et concentration en chlorophylle *a*).

La publication d'une classification complète du fond marin basée sur les caractéristiques physiographiques et océanographiques du Saint-Laurent (Dutil *et al.* 2011) a permis l'utilisation de données environnementales supplémentaires dans les analyses. À chacune des stations des relevés de recherche a été associée l'une des

## ENVIRONMENTAL DATA

More than half of the sampling stations for the research survey conducted between 2006 and 2009 were equipped with a SeaBird CTD profiler. This allowed for collection of information on water column characteristics (depth, conductivity, dissolved oxygen, temperature, and chlorophyll *a* concentration).

A comprehensive classification of the seafloor based on the physiographic and oceanographic characteristics of the St. Lawrence (Dutil et al. 2011) allowed for the incorporation of additional environmental data into the analysis process. Each fishing station of the research surveys was

cellules de 10 km par 10 km de cette classification. Un sous-ensemble de variables environnementales associées à ces cellules a par la suite été exporté et utilisé à des fins d'analyses: 1) la proximité de la côte en mètre, 2) l'importance relative de creux, de bosses et de surface uniforme dans chacune des cellules, 3) la localisation de la station sur un plateau, un chenal ou un talus 4) la pente moyenne au niveau du fond, 5) le positionnement de la station dans un milieu protégé, semi-protégé ou exposé, 6) la température moyenne maximale, 7) la valeur de saturation d'oxygène moyenne maximale, et 8) la profondeur moyenne maximale. Le type de sédiment de surface a également été utilisé. Pour le présent rapport, 15 types de sédiments distincts basés sur la classification de Loring et Nota (1973) ont été retenus.

consequently matched with a 10 km by 10 km cell from this classification. A subset of environmental variables associated with the cells was then exported and used for analysis purposes: 1) proximity of the coast in metres; 2) relative extent of holes, bumps and smooth surface in each cell; 3) station location, whether over a shelf, channel or bank; 4) mean slope at seafloor; 5) station exposure, whether in a protected, semi-protected or exposed site; 6) mean maximum temperature; 7) mean maximum oxygen saturation value; and 8) mean maximum depth. The surface sediment type was also used. For this report, 15 different types of sediment based on Loring and Nota (1973) classification were considered.

## IDENTIFICATION DES HABITATS À HAUT POTENTIEL DE DIVERSITÉ BENTHIQUE

### Géostatistique et cartographie

La distribution spatiale de chacune des variables environnementales a été analysée par krigeage. L'estimation des modèles des variogrammes les plus appropriés ainsi que la grille finale d'interpolation résultant pour chacun des paramètres ont été faites avec le logiciel GenStat (7$^{e}$ édition) (GenStat Committee, 2003). Les distributions finales continues ont été produites via l'extension d'Analyse spatiale (résolution 0.2) projetées dans ArcMap (version 9.1) (ESRI).

### Analyses canoniques

La modélisation d'habitats peut être utilisée afin de relier la distribution des assemblages des espèces avec les paramètres environnementaux du milieu (Franklin 1995). Cette approche permet de déterminer les habitats favorables à l'établissement de communautés benthiques diversifiées de l'ENGSL. Les analyses canoniques, effectuées à l'aide du logiciel CANOCO (CANOCO 4.5, ter Braak et Smilauer

## IDENTIFYING HABITATS WITH HIGH POTENTIAL FOR BENTHIC DIVERSITY

### Geostatistics and Mapping

The spatial distribution of each environmental variable was analyzed by kriging. The most appropriate variogram models and the final interpolation grid for each parameter were estimated using the GenStat (7$^{th}$ edition) application (GenStat Committee 2003). The final continuous distributions were produced via the Spatial Analyst extension (0.2 resolution) projected in ArcMap (version 9.1) (ESRI).

### Canonical Analyses

Habitat modeling may be used to link the distributions of species assemblies with local environmental parameters (Franklin 1995). This approach can be used to define the habitats suitable for the establishment of diverse benthic communities in the ENGSL. Canonical analyses were performed using the CANOCO application (CANOCO 4.5, ter Braak and Smilauer 2002) to develop a map

2002) ont été utilisées pour l'élaboration de la carte d'habitats favorables. Une transformation mathématique (racine carrée) a été appliquée aux données de biomasse (kg/km²) de la macrofaune benthique et l'option «*downweighting of rare species*» a été utilisée afin d'éviter les biais liés à la présence d'espèces rares. L'analyse canonique de correspondance (CCA) est une extension directe de la régression multiple qui recherche la meilleure combinaison de variables environnementales expliquant la distribution des communautés (Legendre et Legendre 1998). La CCA a été utilisée avec le test de permutation de Monte-Carlo (permutation 4999; $\alpha = 0,05$) (ter Braak et Smilauer 2002) afin d'étudier les relations multilinéaires entre les communautés benthiques et leur environnement. Les coefficients de régression obtenus avec la CCA ont ensuite été utilisés avec les paramètres environnementaux de l'ENGSL tirés de Dutil *et al.* (2011) pour prédire le potentiel des habitats à soutenir des communautés benthiques diversifiées.

of suitable habitats. A mathematical transformation (square root) was applied to the biomass data (kg/km²) for benthic macrofauna using the "*downweighting of rare species*" option to prevent biases due to the presence of rare species. Canonical correspondence analysis (CCA) is a direct extension of multiple regression seeking the best combination of environmental variables to explain the distribution of communities (Legendre and Legendre 1998). CCA was used with the Monte Carlo permutation test (permutation 4999; $\alpha = 0.05$) (ter Braak and Smilauer 2002) to study the multilinear relationships between benthic communities and their environment. The regression coefficients obtained with CCA were then used, along with the ENGSL environmental parameters taken from Dutil et al. (2011), to predict the potential of habitats to sustain diversified benthic communities.

L'équation finale résultante de la CCA, qui permet d'expliquer la distribution des communautés benthiques en fonction des variables environnementales du milieu, a par la suite été retranscrite dans l'outil de calculatrice matricielle disponible dans ArcMap. Cet outil permet de superposer les couches d'informations matricielles, en occurrence les cartes continues des paramètres environnementaux significatifs, pour créer la carte résultante des habitats favorables à l'établissement de communautés benthiques diversifiées.

The final equation resulting from CCA, which can be used to explain the distribution of benthic communities based on local environmental variables, was then transferred to the raster calculator tool available in ArcMap. This tool is used to overlay layers of raster information – in the analysis at hand, continuous maps of significant environmental parameters – to create a resulting map of habitats suitable for the establishment of diverse benthic communities.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les engins de pêche mobiles (dont les chaluts à crevette) ont des effets importants sur les communautés et les habitats benthiques (MPO 2006). Ces effets ne sont cependant pas uniformes et dépendent des caractéristiques des habitats, des espèces présentes et du régime naturel de perturbation.

## RESULTS AND DISCUSSION

Mobile fishing gears (including shrimp trawls) do have significant impacts on benthic communities and habitats (DFO 2006). However, these impacts are not uniform and depend on habitat features, the species present and the natural disturbance regime.

## HABITATS À HAUT POTENTIEL DE DIVERSITÉ BENTHIQUE

Les communautés benthiques de l'ENGSL sont structurées par des variables environnementales (Tableau 1). L'axe 1 de l'analyse canonique de correspondance explique 51,5 % de la variabilité observée dans les communautés benthiques et les variables environnementales. Le pourcentage augmente à 66,2 % avec l'inclusion de l'axe 2. La température et la profondeur sont les deux variables environnementales les plus corrélées avec les axes 1 et 2 (Tableau 1). Globalement, 15 variables sont retenues par le modèle. Une influence de la structure du fond et du substrat est également perceptible.

La carte de prédiction de diversité benthique permet d'identifier les secteurs de la zone d'étude qui sont favorables à l'établissement d'une diversité élevée d'organismes benthiques en fonction des variables environnementales répertoriées dans le milieu (Figure 4). Les secteurs identifiés par des couleurs chaudes mettent en évidence les endroits les plus importants à préserver parce qu'ils supportent des communautés benthiques diversifiées et uniques. En effet, les analyses indiquent que les variables environnementales caractérisant ces secteurs sont très favorables à la présence de communautés benthiques diversifiées. Globalement, le contour bathymétrique de 200 m semble bien délimiter les secteurs à fort potentiel de diversité benthique. Ces secteurs côtiers sont particulièrement évidents dans le détroit de Belle-Isle, le long de la côte nord dans l'est du golfe ainsi que le long de la côte ouest de Terre-Neuve et sur le pourtour de l'île d'Anticosti. Les chenaux profonds, l'estuaire et la côte de la Gaspésie ne représentent pas à priori un habitat optimal pour les organismes benthiques. Ces résultats confirment une étude précédente de la caractérisation de l'épifaune benthique dans l'EGSL (Lévesque 2009) dans laquelle un clivage significatif est observé entre les communautés benthiques des chenaux profonds et celles zones côtières moins profondes.

## HABITATS WITH HIGH POTENTIAL FOR BENTHIC DIVERSITY

Benthic communities in the ENGSL are shaped by environmental variables (Table 1). Axis 1 of the canonical correspondence analysis accounts for 51.5% of the variability observed in the benthic communities and environmental variables. This percentage increases to 66.2% when axis 2 is also taken into account. Temperature and depth are the two environmental variables that correlate most closely with axes 1 and 2 (Table 1). A total of 15 variables were incorporated into the model. Influence from bottom and substrate structures is also observable.

A map for predicting benthic diversity is used to identify sites inside the study area that are suitable for the establishment of high diversity of benthic organisms based on the environmental variables recorded at these sites (Figure 4). The sites identified using warm colors represent those deemed most important for preservation in that they support unique and diverse benthic communities. According to the study analysis, they are also characterized by environmental variables classified as highly favourable for the presence of diverse benthic communities. Overall, the 200 m depth contour appears to clearly delineate the areas with strong potential for benthic diversity. These coastal areas are most notable in the Strait of Belle Isle and along the north shore in the eastern gulf as well as along the western coast of Newfoundland and around Anticosti Island. The deep channels, the estuary and the Gaspé Peninsula coast do not appear a priori to be optimal habitats for benthic organisms. These results confirm a previous study on the characterization of benthic epifauna in the EGSL (Lévesque 2009) in which a significant distinction was found between the benthic communities in deep channels and those in shallower coastal areas.

## LES PERTURBATIONS NATURELLES

Globalement, la réponse des communautés benthiques face aux perturbations induites par la pêche suit le patron expliqué dans le modèle général de perturbation (*generalised model of disturbance*) présenté par Hall (1999). Ce modèle stipule que les perturbations engendrent une augmentation des espèces de petite taille et à croissance rapide et une réduction de la diversité et de l'équitabilité. (Archambault et Goudreau 2006, Arseneau *et al.* 2003). Par contre, tel que mentionné par Collie *et al.* (2000) l'ensemble des communautés n'est pas également affecté et ce pour trois raisons : 1) la relation diversité-perturbation ne suit pas toujours une relation linéaire, 2) il existe différents niveaux de perturbation naturelle et 3) les échelles spatiales sont différentes d'un cas à l'autre. L'importance des perturbations naturelles (tempête saisonnière, vagues, courant, glace, etc.) dans le milieu est donc un facteur à considérer afin de pouvoir évaluer les impacts de la pêche au chalut dans une zone. Il a été démontré qu'en zone de faible perturbation naturelle, l'impact induit par la pêche peut avoir comme effet d'augmenter la diversité. La pêche peut par contre diminuer la diversité dans un milieu où la perturbation naturelle est intermédiaire (Blanchard *et al.* 2004).

De manière à qualifier l'importance des perturbations naturelles qui peuvent survenir dans l'EGSL, les données de profondeur moyenne ainsi que la distance avec la côte de Dutil *et al.* (2011) ont été examinées (Figure 5). D'après la Figure 1, quelques sites de pêche seulement sont localisés en milieu peu profond à une distance à la côte faible. Ils peuvent être considérés comme des endroits potentiellement perturbés naturellement de manière intermédiaire à forte. Toutefois, les fonds de pêche traditionnels sont situés en milieu profond hauturier peu perturbés naturellement.

## NATURAL DISTURBANCES

The overall response of benthic communities to disturbances caused by fishing follows the pattern depicted in the generalized model of disturbance set out by Hall (1999). This model stipulates that disturbances involve an increase in small, fast-growing species and a decrease in diversity and equitability (Archambault and Gaudreau 2006, Arseneau et al. 2003). However, as indicated by Collie et al. (2000), all communities are not affected equally for three reasons: 1) the diversity/disturbance relationship is not always linear; 2) there are different levels of natural disturbance; and 3) the spatial scales vary from one case to the next. The significance of natural disturbances (seasonal storms, waves, currents, ice, etc.) at a site is consequently a factor requiring consideration with a view to accurately evaluating the impact of trawling at that site. It has been shown that the impact of fishing in areas with infrequent natural disturbances can include an increase in diversity. Conversely, fishing can decrease diversity in areas with intermediate rates of natural disturbance (Blanchard et al. 2004).

To qualify the magnitude of natural disturbances potentially occurring in the EGSL, data for mean depth and distance from the coast from Dutil *et al.* (2011) were analyzed (Figure 5). From Figure 1, only few fishing sites are located in shallow water close to the shore. These squares may be classified as areas subject to intermediate to high rates of natural disturbance. Traditional fishing grounds, meanwhile, are located offshore in deep water where natural disturbance is low.

## COMPLEXITÉ DE L'HABITAT

Les différentes études portant sur l'analyse des impacts des engins de pêche soulèvent très souvent la notion de complexité de l'habitat. Selon l'hypothèse de la perturbation écologique, la réponse initiale ainsi que le taux de rétablissement, suite à des opérations de chalutage, devraient être directement reliés à la stabilité du substrat et des organismes benthiques qui y vivent. (Lake 1990, Picket et White 1995).

Le passage des engins de pêche serait donc plus dommageable dans les secteurs où le sédiment est plus grossier. La carte de sédiments de surface de Loring et Nota (1973) montre que la presque totalité des chenaux où le chalutage est intensif est associée à des sédiments plutôt fins (pélite) (Figure 6). Cependant, les zones côtières à fort potentiel de diversité benthique qui peuvent être perturbés naturellement de manière intermédiaire à forte sont composées de sédiments plus grossiers (présence de gravier).

## ESPÈCES SENSIBLES

La complexité d'un habitat peut aussi être augmentée par la présence de structures telles que les coraux mous (Auster et Langton 1999) et éponges qui peuvent héberger divers organismes de petite taille (invertébrés notamment) et attirer les poissons, augmentant ainsi la diversité d'un écosystème. La présence de ces espèces rend la communauté encore plus fragile puisque ces dernières sont sessiles ou peu mobiles et possèdent un faible taux de croissance (Ley et Lauzon 1998). Globalement, les études confirment le principe écologique stipulant que les communautés stables à faible mobilité composées d'espèces à longue durée de vie seront plus vulnérables à une perturbation vive et récurrente que les espèces à courte durée de vie.

Les travaux de Kenchington *et al.* (2010)

## HABITAT COMPLEXITY

The various studies involving analysis of fishing gear impacts very frequently raise the concept of habitat complexity. According to the ecological disturbance assumption, the initial response and recovery rate following trawling operations should be directly related to the stability of the substrate and the benthic organisms found on it (Lake 1990, Picket and White 1995).

The passage of fishing gear would, therefore, appear to cause greater damage in areas with coarser sediment. According to Loring and Nota (1973) surface sediment map, nearly the entire bottom in channels subjected to intensive trawling is associated with more or less fine sediment (pelite) (Figure 6). However, inshore areas with high potential for benthic diversity and intermediate to high rates of natural disturbance are made up of coarser sediment (including gravel).

## SENSITIVE SPECIES

Habitat complexity may also increase due to the presence of structures such as soft corals (Auster and Langton 1999) and sponges which could give shelter to various small size organisms (particularly invertebrates) and attract fish, increasing the diversity of an ecosystem. Moreover, the presence of these species, which are sessile or not much mobile and have a low growth rate, makes a community even more fragile (Ley and Lauzon 1998). Overall, the studies uphold the ecological principle by which stable communities with low mobility made up of long-lived species are more sensitive to frequent, large-scale disturbances than short-lived species.

Based on the work of Kenchington et al.

montrent que les plumes de mer sont particulièrement abondantes dans le chenal Laurentien où il y a eu peu de chalutage régulier à la crevette (Figures 1 et 2). Les éponges sont distribuées de façon plus uniforme dans l'ENGSL avec des concentrations associées autant aux secteurs côtiers qu'aux chenaux.

## IMPACT POTENTIEL DE LA PÊCHE DE LA CREVETTE DANS L'ENGSL

Les perturbations périodiques peuvent avoir des effets différents sur les communautés. Si la pêche s'apparente à une perturbation ponctuelle (« pulse event »), par exemple si elle n'est pas trop intense et que l'intervalle de temps entre les perturbations est suffisamment long, les communautés benthiques peuvent après un certain temps, retrouver leur état initial. D'autre part, la résilience du système influence aussi le temps requis pour que la structure et la composition du système existant récupère après une perturbation (Holling 1973).

Il est ardu de déterminer sans l'ombre d'un doute la résilience des communautés benthiques de l'ENGSL. Par contre, considérant l'ensemble des facteurs tels que les habitats favorisant l'établissement de communautés benthiques diversifiées, le degré de perturbation naturelle du milieu, la complexité de l'habitat (type de substrat) et la présence d'organismes benthiques sensibles comme les coraux et éponges, il est possible de caractériser le niveau de vulnérabilité de certains secteurs. En superposant ces informations avec les fonds de pêche traditionnels où le chalutage a été régulier et intensif ou occasionnel, il est possible d'évaluer le risque par secteur pour les opérations de chalutage de fond dans l'ENGSL.

La crevette nordique est associée à la masse d'eau profonde et l'espèce est retrouvée principalement dans les chenaux à des profondeurs variant de 200 à 300 m (Savard et Nozères 2012) où les sédiments sont fins et consolidés et où les perturbations naturelles ont peu d'impact. La majorité des sites de pêche qui

(2010), sea pens are especially abundant in the Laurentian Channel where there is few regular shrimp trawling (Figures 1 and 2). Sponges are distributed more uniformly throughout the ENGSL with concentrations found both in coastal areas and channels.

## POTENTIAL IMPACT OF SHRIMP FISHING IN THE ENGSL

Periodic disturbances may have different effects on communities. If fishing occurs as a pulse event – for example, if it is not too intense and the time interval between disturbances is long enough – then the benthic communities may regain their original status after a certain time. System resilience, however, also influences the time required for recovery of the existing system's structure and composition after a disturbance (Holling 1973).

Determining the resilience of benthic communities in the ENGSL unequivocally is difficult. However, taking into account the various factors, such as habitat suitability for the establishment of diverse benthic communities, the rate of natural disturbance in the area, habitat complexity (substrate type) and the presence of sensitive benthic organisms such as corals and sponges, it is possible to characterize the sensitivity of certain areas. By overlaying this information on maps of traditional fishing grounds where trawling has been regular and intensive or occasional, it is possible to assess the risk by sector in relation to trawling operations in the ENGSL.

Northern shrimp are associated with the deep water mass and found mainly in channels at depths of 200 to 300 m (Savard et Nozères 2012) where sediment is fine and consolidated and natural disturbances have minimal impact. The majority of fishing sites subject to regular trawling are located at

ont subi un chalutage régulier sont situés entre 200 et 300 m de profondeur, dans les chenaux Esquiman et Anticosti et le long des deux versants du chenal Laurentien, à partir de l'extrémité est de l'île d'Anticosti jusque dans l'estuaire (Figure 1). Ces secteurs sont moins favorables à l'établissement d'une épifaune benthique hautement diversifiée (Figure 4). On ne s'attend donc pas à ce que les endroits où la pêche cible la crevette nordique se retrouvent en zone de fort potentiel de diversité benthique. En effet, les données de distribution de l'effort ainsi que les données des observateurs en mer indiquent que la zone côtière, souvent à fort potentiel de diversité benthique, a été majoritairement évitée par la pêche (Savard 2012).

depths of 200 to 300 m in the Esquiman and Anticosti channels and along the two slopes of the Laurentian Channel between the eastern end of Anticosti Island and the Estuary (Figure 1). These areas are less suitable for the establishment of highly diverse benthic epifauna (Figure 4). Sites targeting northern shrimp for fishing are consequently not expected to fall within areas with strong potential for benthic diversity. Based on data for the distribution of effort and from at-sea observers, fishing activities have for the most part remained clear of inshore areas (Savard 2012).

L'impact cumulatif du chalutage à la crevette a probablement été faible sur les champs de plumes de mer puisque les profondeurs ciblées par la pêche (200–300 m) ne correspondent pas aux profondeurs optimales pour l'établissement de champs de plumes de mer (>300 m) (Figures 1 et 2).

The cumulative impact of shrimp trawling has likely been minimal on sea pen fields since the depths targeted for fishing (200 – 300 m) are not optimal depths for the establishment of sea pen fields (>300 m) (Figures 1 and 2).

Les concentrations importantes d'éponges sont réparties sur tout le territoire à des profondeurs allant de 100 à 300 m. Il semble que les activités régulières de pêche aient altéré la distribution des éponges (Figures 1 et 2). Peu d'éponges sont retrouvées dans les secteurs où le chalutage a été régulier et intensif alors que des agrégations sont observées dans des secteurs où le chalutage a été rare (est de l'île Anticosti). On observe aussi des agrégations d'éponges dans des sites où des activités de pêche intensives ont eu lieu dans les années 1980, mais où peu d'activités ont été répertoriées depuis (ouest de l'île d'Anticosti). Le chalutage à la crevette a vraisemblablement eu un impact significatif sur les éponges, mais il semble exister un certain potentiel de rétablissement des éponges après une pêche intensive.

Significant concentrations of sponges are distributed throughout the area at depths ranging from 100 to 300 m. Regular fishing activities appear to have affected sponge distributions (Figures 1 and 2). Few sponges are found of in sectors where trawling is regular and intensive while aggregations are observed in sectors where trawling is rare (east of Anticosti Island). We also observe sponge aggregations in sites where intensive fishing activities occurred during the 1980s but where few activities have occurred since (west of Anticosti Island). Shrimp trawling consequently appears to have had significant impact on sponges, although these species also appear to exhibit certain recovery potential after intensive fishing.

## RÉFÉRENCES REFERENCES


Archambault, P. et Goudreau, P. 2006. Effet de la pêche commercial sur le gisement de pétoncles d'Islande (*Chlamys islandica*) de l'Ile Rouge dans l'estuaire du Saint-Laurent: impact sur les pétoncles et la communauté benthique. Secr. Can. de consult. Sci. du MPO. Doc. de rech. 2006/079. 22 p.

Arseneau, M.J., Archambault, P., et Goudreau, P. 2003. Effets de la pêche commerciale sur le gisement de pétoncles d'Islande (Chlamys islandica) de l'Ile Rouge dans l'estuaire du Saint-Laurent : évaluation des impacts sur le pétoncle et la communauté benthique associée. Rapp. Tech. Can. Sci. halieut. Aquat. 2512 : vii +38 p.

Auster, P.J., and Langton, R.W. 1999. The effects of fishing on fish habitat. In L. Benaka (ed.) Fish habitat: Essential fish habitat and rehabilitation. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland: 150-187.

Beutel, D., Skrobe, L., Castro, K., Ruhle, Sr.P., Ruhle, Jr.P., O'Grady, J., and Knight, J. 2008. Bycatch reduction in the Northeast USA directed haddock bottom trawl fishery. Fish. Res. 94 (2): 190-198.

Blanchard, F., Leloc'h, F., Hily, C. and Boucher, J. 2004. Fishing effects on diversity, size and community structure of the benthic invertebrate and fish megafauna on the Bay of Biscay coast of France. Mar. Ecol. Progr. Ser. 280: 249-260.

Bourdages, H., Archambault, D., Bernier, B., Fréchet, A., Gauthier, J., Grégoire, F., Lambert, J., et Savard, L. 2010. Résultats préliminaires du relevé multidisciplinaire de poissons de fond et de crevette d'août 2009 dans le nord du golfe du Saint-Laurent. Rapp. stat. can. sci. halieut. aquat. 1226 : xii+ 72 p.

Collie, J.S., Hall, S.J., Kaiser, M.J. and Poiner. I.R. 2000. A quantitative analysis of fishing impacts on shelf-sea benthos. J. Anim. Ecol. 69: 785-798.

DFO. 2006. Impact of Trawl Gears and Scallop Dredges on Benthic Habitats, Populations and Communities. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2006/025.

DFO. 2012a. Assessment of Shrimp Stocks in the Estuary and Gulf of St. Lawrence in 2011. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2012/006.

DFO. 2012b. Policy for Managing the Impacts of Fishing on Sensitive Benthic Areas. Version May 2012. http://www.dfo-mpo.gc.ca/fm-gp/peches-fisheries/fish-ren-peche/sff-cpd/benthi-eng.htm

Dutil, J.-D., Proulx, S., Chouinard, P.-M., and Borcard, D. 2011. A hierarchical classification of the seabed based on physiographic and oceanographic features in the St. Lawrence. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2916: vii+ 72 pp.

Ford, J.S., Rudolph, T., and Fuller, S.D. 2008. Cod bycatch in otter trawls and in longlines with

different bait types in the Georges Bank haddock fishery. Fsh. Res. 94(2): 184-189.

Franklin, J. 1995. Predictive vegetation mapping: geographical modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. Prog. Phys. Geogr. 19: 474-499.

GenStat Committee. 2003. GenStat Release 7.1. IACRP-Rothamsted, Harpenden. Herfordsshire, UK.

Graham, M. 1955. Effect of trawling on animals of the sea bed. Deep-Sea Res. Suppl. 3: 1-6.

Hall, S.J. 1999. The effect of fishing on marine ecosystems and communities. Blackwell Science, Oxford.

Holling, C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics. 4: 1-23.

Jenning, S., and Kaiser, M.J. 1998. The effects of fishing on marine ecosystems. Adv. Mar Biol. 34. 268-352.

Kaiser, M.J., Clarke, K.R., Hinz, H., Austen, M.C.V., Somerfield, P.J., and Karakakkis, I. 2006. Global analysis of response and recovery of benthic biota to fishing. Mar. Ecol. Prog. Ser. 311: 1-14.

Kenchington, E., Gilkinson, K. D., MacIsaac, K.G., Bourbonnais-Boyce, C., Kenchington, T.J., Smith, S.J., and Gordon, Jr. D. C. 2006. Effects of experimental otter trawling on benthic assemblages on Western Bank, northwest Atlantic Ocean. J. Sea. Res. 56 (3): 249-270.

Kenchington, E., Lirette, C., Cogswell, A., Archambault, D., Archambault, P., Benoit, H., Bernier, D., Brodie, B., Fuller, S., Gilkinson, K., Lévesque, M., Power, D., Siferd, T., Treble, M., and Wareham, V. 2010. Delineating Coral and Sponge Concentrations in the Biogeographic Regions of the East Coast of Canada Using Spatial Analyses. DFO Can.Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2010/041. vi + 202 pp.

Lake, P.S. 1990. Disturbing hard and soft bottom communities: A comparison of marine and freshwater environments. Australian Journal of Ecology 15: 477-489.

Legendre, P., and Legendre, L. 1998. Numerical Ecology, Elsevier. Amsterdam.

Lévesque, M. 2009. Caractérisation de la macrofaune épibenthique de l'estuaire et du nord du Golfe du Saint-Laurent (Québec-Canada) en relation avec les paramètres environnementaux : analyses multivariées et approche de géostatistique. Thèse de maîtrise. Université du Québec à Rimouski, Rimouski (Québec). ii +103 pp.

Lewinson, R.L., Crowder, L.B., Read, A.J., and Freeman, S.A. 2004. Understanding impacts of fisheries bycath on marine megafauna.Trends. Ecol. Evol.. 19(11):598-604.

Ley, S.P. and Lauzon, N.R.L. 1998. Hexactinellid sponge ecology:growth rates and seasonality in

deep water sponges. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 203:111-129.

Loring, D. H., and Nota, D. J. G. 1973. Morphology and sediment of the Gulf of St. Lawrence. J. Fish. Res. Board Can. 182: 147 pp.

Marine Stewardship Council. 2012. http://www.msc.org/track-a-fishery/certified/north-west-atlantic/Gulf-of-st-lawrence-northern-shrimp http://www.msc.org/track-a-fishery/certified/north-west-atlantic/gulf-st-lawrence-northern-shrimp-trawl-fishery-esquiman-channel

MPO. 2006. Effets des engins de chalutage et des dragues à pétoncles sur les habitats, les populations et les communautés benthiques. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2006/025.

MPO. 2012a. Évaluation des stocks de crevette de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent en 2011. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2012/006.

MPO. 2012b. Politique de gestion de l'impact de la pêche sur les zones benthiques vulnérables. Version mai 2012. http://www.dfo-mpo.gc.ca/fm-gp/peches-fisheries/fish-ren-peche/sff-cpd/benthi-fra.htm

Mullon, C., Fréon, P. and Cury, P. 2005. The dynamics of collapse in world fisheries. Fish. Fish. 6: 111–120. doi: 10.1111/j.1467-2979.2005.00181.x

Myers, R.A., Hutchings, J.A., and Barrowman, N.J. 1997. Why do fish stocks collapse? The example of cod in Atlantic Canada. Ecol. Appli. 7: 91-106.

Picket, S.T.A., and White, P.S. 1995. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press. New York. NY.

Savard L. 2012. Distribution de l'effort de pêche à la crevette nordique dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2012/092. ii + 21 p.

Savard L. 2012. Distribution of Northern shrimp fishing effort in the Estuary and Gulf of St. Lawrence. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/092. ii+ 21 p.

Savard L. et C. Nozères. 2012. Atlas des espèces de crevettes de l'estuaire et du nord du golfe du Saint-Laurent. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3007 : vi+ 67 p.

Savard L. and C. Nozères. 2012. Atlas of shrimp species of the Estuary and northern Gulf of St. Lawrence. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3007: vi + 67 p.

Savard, L. H. Bouchard et Couillard, P. 2003. Revue de la pêche à la crevette nordique (*Pandalus borealis*) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent pour la période 1965 – 2000. Rapp. tech. can. sci. halieu. aquat. 2465 : viii + 143 p.

ter Braak, C. J. F., and Smilauer, P. 2002. CANOCO reference manual and CanoDraw for windows User's guide: software for canonical community ordination (Version 4.5).

Microcomputer Power, Ithaca, New-York, 500 pp.

Thrush, S.F., and Dayton, P.K. 2002. Disturbance to marine benthic habitats by trawling and dredging: Implications for marine biodiversity. Annu. Rev. Ecol. Syst. 33: 449-473.

Van Dolah, R.F., Wendt, P.H., and Nicholson, N. 1987. Effects of a research trawl on a hard-bottom assemblage of sponges and corals. Fish. Res. 5: 39-54.

Worm, B., Barbier, E.B., Beaumont, N., Duffy, J.E., Flke, C., Halpern, B.S., Jacksone, J.B.C., Lotze, H.K., Micheli, F., Palumbi, S.R., Sala, E., Selkoe, K.A., Stachowicz, J.J., and Watson, R. 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. Science. 3 : 787-790.

*Tableau 1. Résultat de l'analyse canonique de correspondance appliquée sur les biomasses des espèces benthiques et les variables environnementales de l'estuaire et du nord du golfe du Saint-Laurent entre 2006 et 2009. Résultats pour les deux principaux axes de l'analyse ainsi que la valeur P du test de permutation de Monte Carlo.*

*Table 1. Results of the canonical correspondence analysis applied on the benthic species biomasses and environmental variables for the Estuary and northern Gulf of St. Lawrence between 2006 and 2009. Results for the two main axes of the analysis and the P value from the Monte Carlo permutation test.*

| | Axe 1 | Axe 2 | |
|---|---|---|---|
| Valeurs propres / Eigenvalues | 0.479 | 0.136 | |
| Corrélation espèces-environnement / Species-environment correlations | 0.892 | 0.690 | |
| Variance cumulative / Cumulative variance (%) | | | |
| des données espèces / of species data | 15.7 | 20.2 | |
| de la relation espèces-environnement / of species-environment relation | 51.5 | 66.2 | |
| | Axe 1 | Axe 2 | P |
| Localisation de la station / Station location | | | |
| Habitat semi-exposé / Semi-sheltered habitat | 0.0151 | 0.1064 | 0.002 |
| Habitat exposé / Exposed habitat | 0.0295 | 0.0986 | 0.002 |
| Distance avec la côte / Proximity to shoreland | -0.0040 | -0.0379 | 0.002 |
| Caractéristiques du fond / Landscape features | | | |
| Profondeur / Depth | -0.1454 | 0.6232 | 0.002 |
| Pente / Slope | 0.0008 | 0.2525 | 0.002 |
| Plateau / Plateau | 0.0225 | 0.0201 | 0.002 |
| Relief du fond / Seabed relief | | | |
| Fond uniforme / Uniform seabed | 0.0105 | 0.1491 | 0.002 |
| Creux / Pits | -0.0273 | -0.0131 | 0.002 |
| Bosse / Humps | 0.0461 | 0.1491 | 0.002 |
| Variables océanographiques / Oceanographic variables | | | |
| Oxygène / Oxygen | 0.1203 | -0.2819 | 0.002 |
| Température / Temperature | -0.1672 | -0.5721 | 0.002 |
| Sédiments de surface / Surface sediments | | | |
| Pélite / Pelite | 0.0171 | -0.1006 | 0.002 |
| Sable-Gravelle-Pélite / Sand-Gravel-Pelite | 0.0902 | 0.0720 | 0.002 |
| Calcarénite-Calcirudite / Calcarenite-Calcirudite | 0.1210 | 0.2131 | 0.002 |
| Pélite-Calcaire / Pelite-Limestone | -0.0059 | -0.0947 | 0.002 |

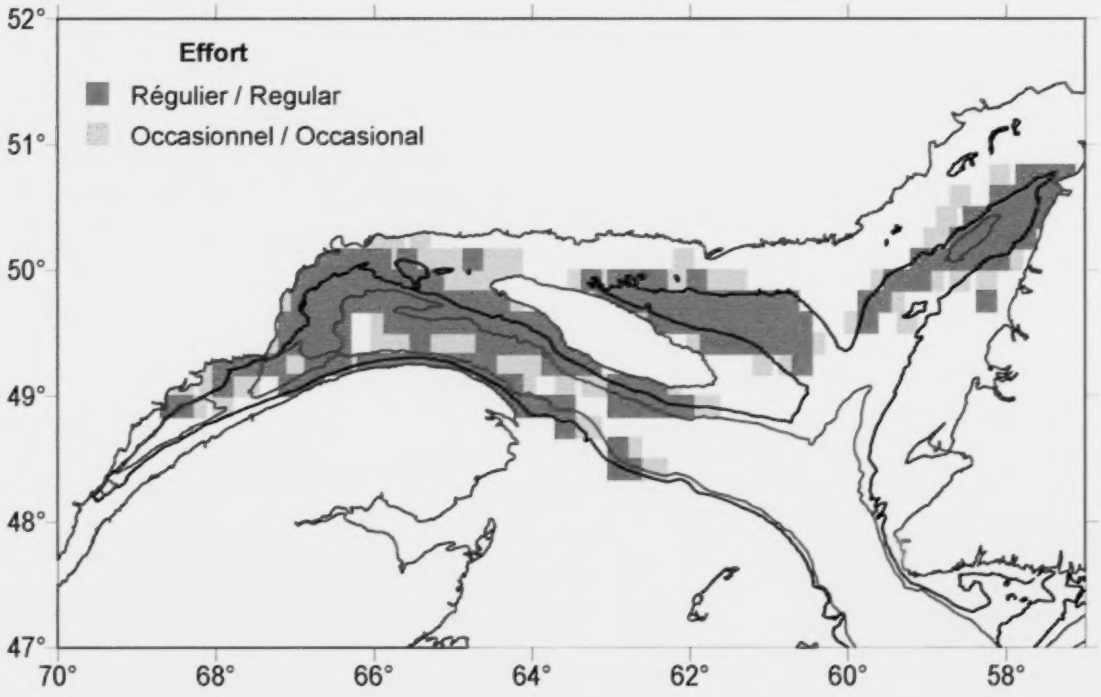


*Figure 1. Répartition spatiale de l'effort de pêche cumulatif de 1982 à 2011. Le chalutage a été régulier quand l'effort par quadrilatère cumule plus de 450 heures par décennie, pendant au moins deux décennies. Le chalutage a été occasionnel quand l'effort par quadrilatère cumule plus de 450 heures, mais pour une seule décennie. Tiré de Savard 2012.*

*Figure 1. Spatial distribution of cumulative fishing effort from 1982 to 2011. Trawling was regular when the effort is more than 450 hours per decade for at least two decades. Trawling was occasional when the effort is more than 450 hours but for only one decade. From Savard 2012.*

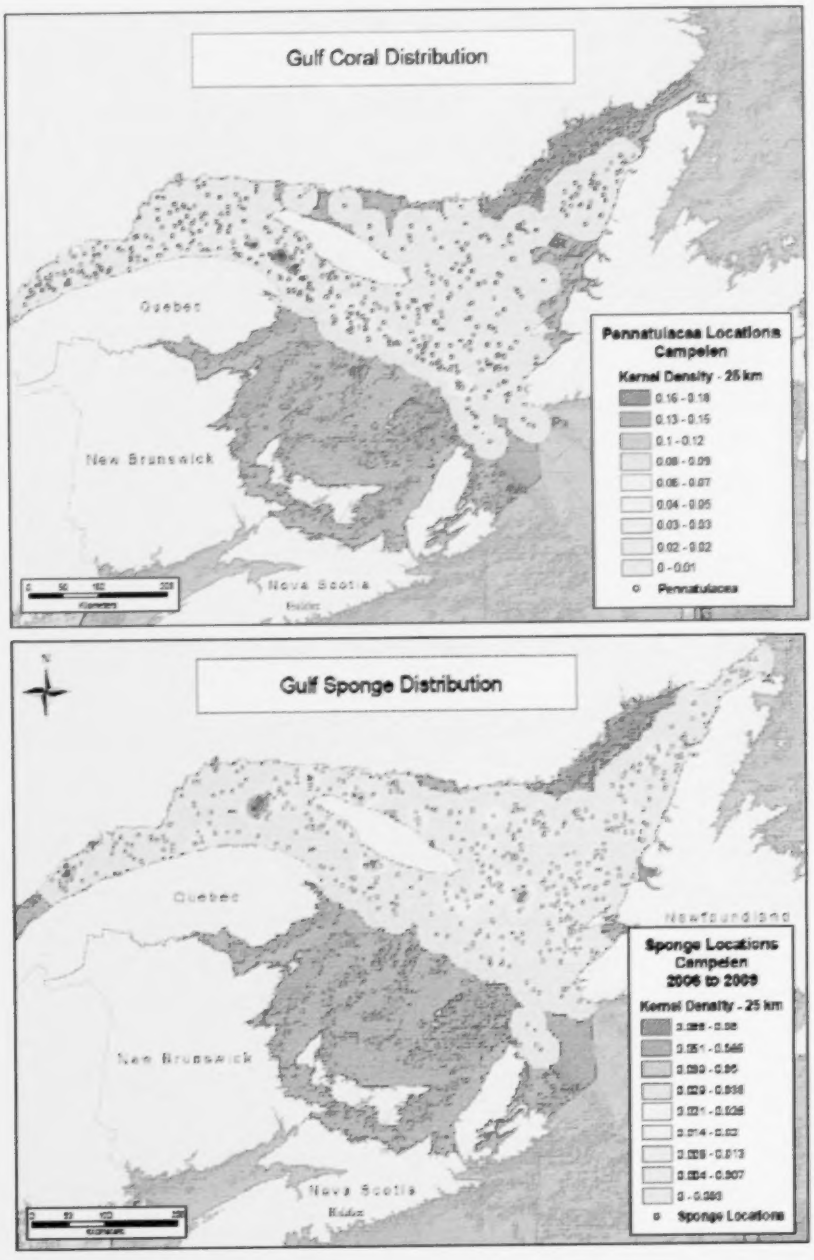


*Figure 2. Distribution des plumes de mer (Pennatulacea) (en haut) et des éponges (panneau du bas) dans le nord du golfe du Saint-Laurent (tiré de : Kenchington et al. 2010).*

*Figure 2. Distribution of sea pens (Pennatulacea) (above) and sponges (below) in the Estuary and Northern Gulf of St. Lawrence (from : Kenchington et al. 2010).*

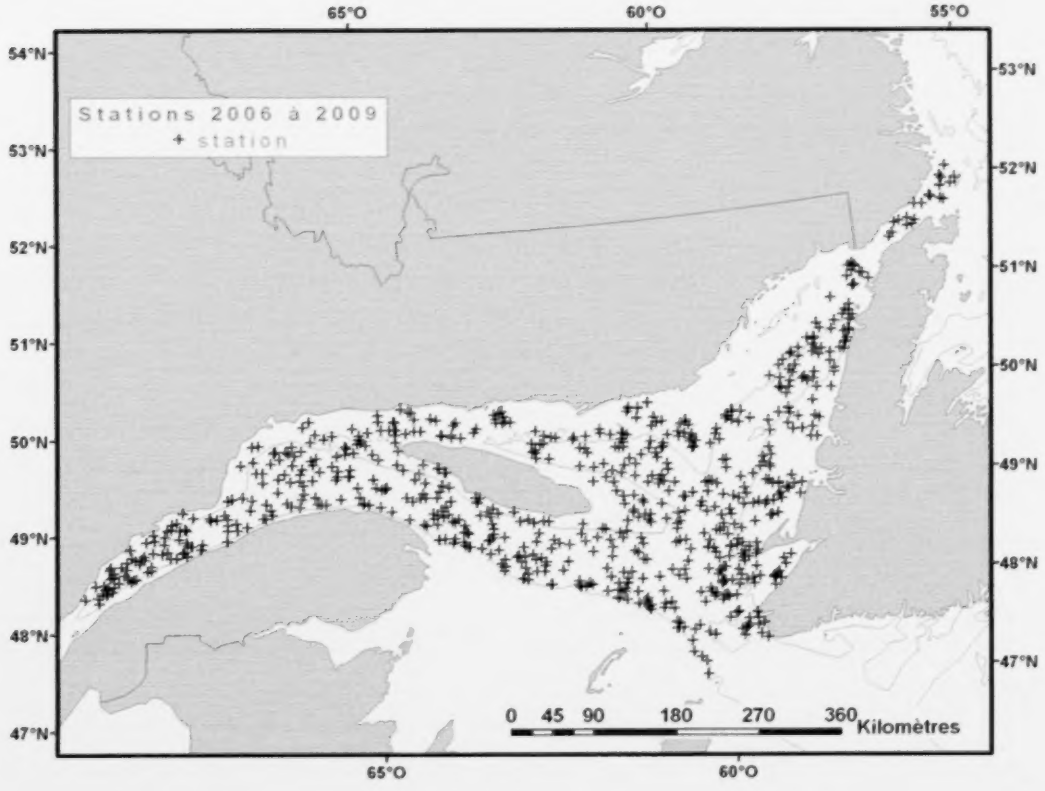


*Figure 3. Répartition des 755 stations échantillonnées au cours des relevés de chalutage du MPO réalisés entre 2006 et 2009 dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent.*

*Figure 3. Distribution of the 755 stations sampled during the trawl surveys conducted by DFO between 2006 and 2009 in the Estuary and the Northern Gulf of St. Lawrence.*

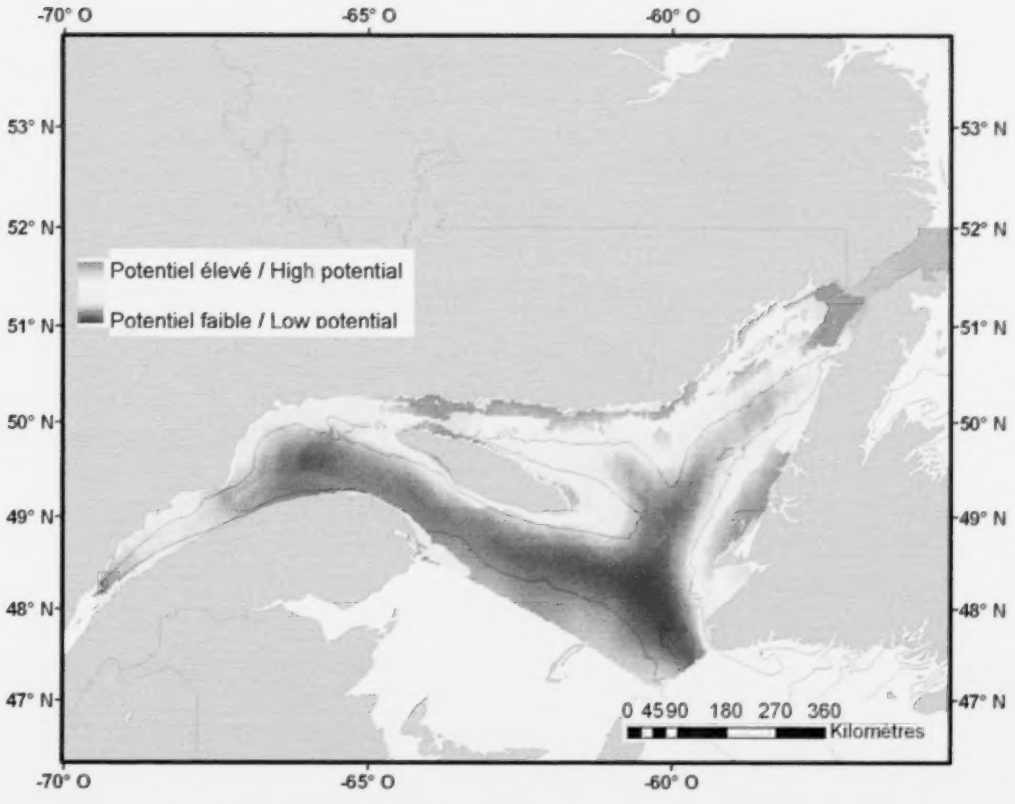


*Figure 4. Prédiction des habitats favorables à l'établissement d'une diversité élevée d'organismes benthiques en fonction des variables environnementales.*

*Figure 4. Prediction of habitats suitable to the establishment of a high diversity of benthic organisms according to the environmental variables.*

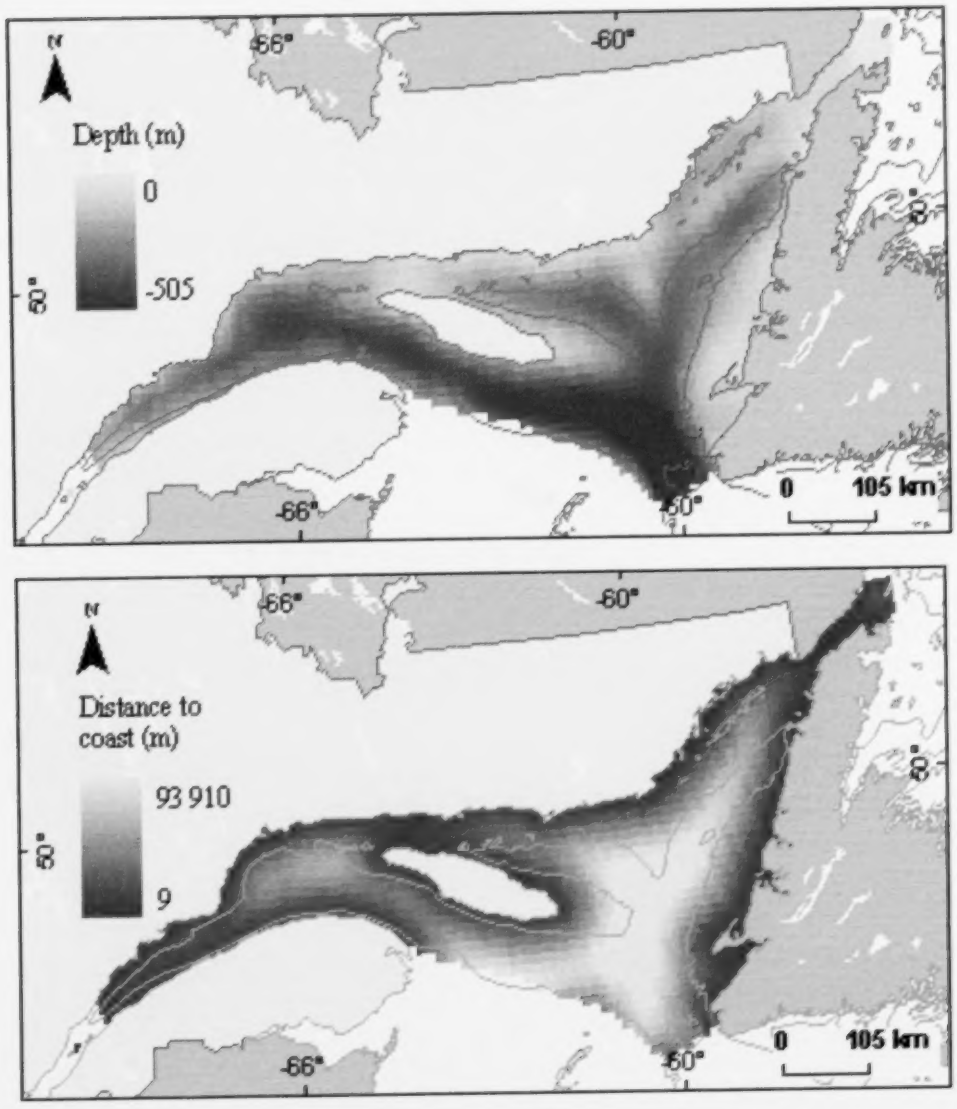


*Figure 5. Profondeur moyenne et distance avec la côte par cellule de 10 km² (d'après les données de Dutil et al. 2010).*

*Figure 5. Mean depth and distance from shoreline by 10 km² cell (from data of Dutil et al. 2010).*

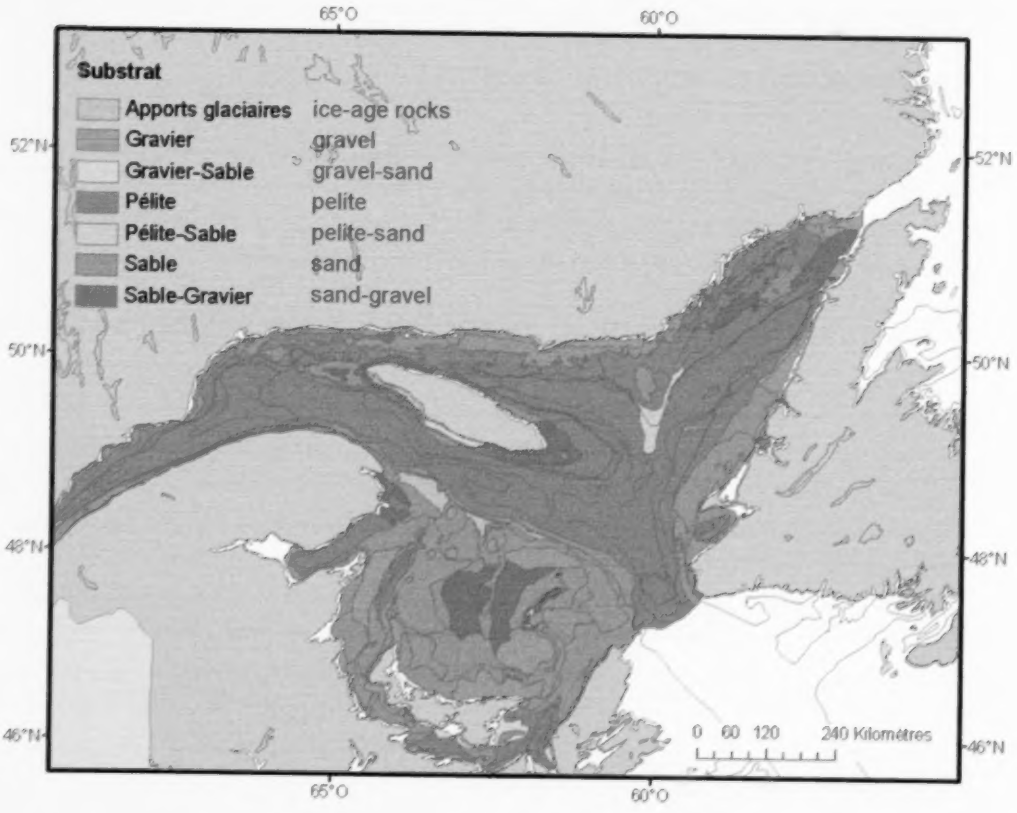


*Figure 6.* *Distribution des substrats de surface (d'après les données de Loring et Nota 1973).*

*Figure 6.* *Distribution of surface substrates (from data of Loring and Nota 1973).*

*Annexe 1.* *Liste des taxons de la faune épibenthique répertoriés au cours des relevés de chalutage conduits dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent entre 2006 et 2009.*

*Appendix 1.* *List of taxa of the benthic epifauna recorded during the trawl surveys conducted in the Estuary and Gulf of St. Lawrence between 2006 and 2009.*

| Phylum | Classe / Class | Ordre / Order | Famille/Family | Genre / Genus | Espèce / Species |
|---|---|---|---|---|---|
| *Annelida* | *Polychaeta* | *Aciculata* | *Aphroditidae* | *Aphrodita* | *Aphrodita hastata* |
| | | | | *Laetmonice* | *Laetmonice filicornis* |
| | | | *Lumbrineridae* | *Lumbrineris* | *Lumbrineris fragilis* |
| | | | *Nepthtyidae* | *Nephtys* | *Nepthys bucera* |
| | | | | | *Nepthys discors* |
| | | | *Onuphidae* | *Onuphis* | *Onuphis opalina* |
| | | | *Sillidae* | *Sillides* | *Sillides setosa* |
| | | | | *Odontosyllis* | *Ondotosyllis fulgurans* |
| | | *Canalipalpata* | *Terebellidae* | *Neoamphitrite* | *Neoamphitrite affinis* |
| | | | *Pectinariidae* | *Pectinaria* | *Pectinaria granulata* |
| | | | *Serpulidae* | *Spirorbis* | *Spirorbis sp* |
| | | | | | *Spirobis Spirorbis* |
| | | *Capitallida* | *Nereididae* | | *Nereis pelagica* |
| | | | *Polynoidae* | *Harmothoe* | *Harmothoe sp.* |
| | | | | | *Harmothoe extenuata* |
| | | | | | *Harmothoe nodosa* |
| | | | | | *Harmothoe oerstedi* |
| | | | | | *Harmothoe spinosa* |
| | | | | *Enipo* | *Enipo torelli* |
| | | | *Scalibregmatidae* | *Scalibregma* | *Scalibregma inflatum* |
| *Arthropoda* | *Malacostraca* | *Isopoda* | *Aegidae* | *Aega* | *Aega sp.* |
| | | | | *Syscenus* | *Syscenus infelix* |
| | | *Amphipoda* | *Epimeriidae* | *Epimeria* | *Epimeria loricata* |
| | | | | *Paramphitoe* | *Paramphitoe hystrix* |
| | | | *Eusiridae* | *Eusirus* | *Eusirus cuspidatus* |
| | | | | *Rhachotropis* | *Rhachotropis aculaeta* |
| | | | *Hyperiidae* | *Themisto* | *Themisto libellula* |
| | | | *Stegocephalidae* | *Stegocephalus* | *Stegocephalus inflatus* |
| | | | *Uristidae* | *Anonyx* | *Anonyx sp* |
| | | *Sessilia* | *Archaeobalanidae* | *Chirona* | *Chirona hameri* |
| | | | *Balanidae* | *Balanus* | *Balanus balanus* |
| | | | | | *Balanus crenatus* |
| | *Maxillopoda* | *Pedunculata* | *Scalpellidae* | *Arcoscalpelum* | *Arcoscalpellum michelottianum* |

*Annexe 1. Suite.*
*Appendix 1. Continued.*

| Phylum | Classe / Class | Ordre / Order | Famille/Family | Genre / Genus | Espèce / Species |
|---|---|---|---|---|---|
| *Arthropoda* | *Maxillopoda* | *Decapoda* | *Paguridae* | *Pagurus* | *Pagurus sp.* |
| | | | | | *Pagurus arcuatus* |
| | | | | | *Pagurus pubescens* |
| | | | *Galatheidae* | *Munidopsis* | *Munidopsis curvirostra* |
| | | | *Sergestidae* | *Sergestes* | *Sergestes arcticus* |
| | | | | *Sergia* | *Sergia robusta* |
| | | | *Oplophoridae* | *Acanthephyra* | *Acanthephyra pelagica* |
| | | | *Pasiphaeidae* | *Pasiphaea* | *Pasiphaea tarda* |
| | | | | *Pasiphaeata* | *Pasiphaea multidentata* |
| | | | *Hippolytidae* | *Eualus* | *Eualus fabricii* |
| | | | | | *Eualus macilentus* |
| | | | | | *Eualus gaimardi gaimardi* |
| | | | | | *Eualus gaimardi belcheri* |
| | | | | *Spirontocaris* | *Spirontocaris spinus* |
| | | | | | *Spirontocaris phippsi* |
| | | | | | *Spirontocaris lilljeborgi* |
| | | | | *Lebbeus* | *Lebbeus groenlandicus* |
| | | | | | *Lebbeus polaris* |
| | | | | | *Lebbeus microceros* |
| | | | *Pandalidae* | *Pandalus* | *Pandalus borealis* |
| | | | | | *Pandalus montagui* |
| | | | | *Atlantopandalus* | *Atlantopandalus propinqvus* |
| | | | *Crangonidae* | *Sclerocrangon* | *Sclerocrangon boreas* |
| | | | | *Sabinea* | *Sabinea septemcarinata* |
| | | | | | *Sabinea sarsi* |
| | | | | *Pontophilus* | *Pontophilus norvegicus* |
| | | | | *Argis* | *Argis dentata* |
| | *Pycnogonida* | *Pantopoda* | *Nymphonidae* | *Nymphon* | *Nymphon sp* |
| | | | | | *Nymphon grossipes* |
| | | | | | *Nymphon macrum* |
| | | | | | *Nymphon stroemi* |
| | | *Pleurogona* | *Pyuridae* | *Boltenia* | *Boltenia ovifera* |
| | | | | *Halocynthia* | *Halocynthia pyriformis* |
| | | | *Molgulidae* | *Molgula* | *Molgula sp.* |

*Annexe 1. Suite.*
*Appendix 1. Continued.*

| Phylum | Classe / Class | Ordre / Order | Famille/Family | Genre / Genus | Espèce / Species |
|---|---|---|---|---|---|
| *Cnidaria* | *Anthozoa* | *Actiniaria* | *Actiniidae* | | *Actiniidae* |
| | | | | *Bolocera* | *Bolocera sp.* |
| | | | *Actinostolidae* | *Stomphia* | *Stomphia coccinea* |
| | | | *Hormathiidae* | | *Hormathia nodosa* |
| | | | | | *Stephanauge nexilis* |
| | | *Alcyonacea* | *Alcyoniidae* | *Duva* | *Duva sp* |
| | | | | *Gersemia* | *Gersemia sp* |
| | | *Scleractinia* | *Flabellidae* | *Flabellum* | *Flabellum sp* |
| | | *Pennatulacea* | *Pennatulidae* | *Pennatula* | *Pennatula sp.* |
| | *Hydrozoa* | *Leptothecatae* | *Campanulariidae* | *Campanularia* | *Campanularia sp.* |
| | | | *Lafoeidae* | *Lafoea* | *Lafoea sp* |
| | | | | | *Lafoea fructicosa* |
| | | | *Sertulariidae* | *Abietinaria* | *Abietinaria abietina* |
| | | | | *Sertularella* | *Sertularella polyzonias* |
| | | | | *Sertularia* | *Sertularia fabricii* |
| | | | | *Thuiaria* | *Thuiaria sp* |
| | | | | | *Thuiaria thuja* |
| | | | | | *Thuiaria articulata* |
| | | | | | *Thuiaria distans* |
| | | | *Haleciidae* | *Halecium* | *Halecium beanii* |
| | | | *Laodiceidae* | *Ptychogena* | *Ptychogena lactea* |
| | | *Anthoathecatae* | *Stylasteridae* | *Crypthelia* | *Crypthelia affinis* |
| | *Scyphozoa* | | | | *Scyphozoa* |
| *Echinodermata* | *Asteroidea* | *Forcipulatida* | *Asteriidae* | *Asterias* | *Asterias rubens* |
| | | | | *Leptasterias* | *Leptasterias polaris* |
| | | | | *Stephanasterias* | *Stephanasterias albula* |
| | | *Spinulosida* | *Asterinidae* | *Tremaster* | *Tremaster mirabilis* |
| | | | *Echinasteridae* | *Henricia* | *Henricia sp.* |
| | | | *Poraniidae* | *Poraniomorpha* | *Poraniomorpha hispida* |
| | | | *Pterasteridae* | *Pteraster* | *Pteraster sp.* |
| | | *Spinulosida* | *Solasteridae* | *Crossaster* | *Crossaster papposus* |
| | | | | *Solaster* | *Solaster endeca* |
| | | *Paxillosida* | *Astropectinidae* | *Leptychaster* | *Leptychaster arcticus* |
| | | | | *Psilaster* | *Psilaster andromeda* |
| | | | | *Plutonaster* | *Plutonaster agassizi* |
| | | | *Goniopectinidae* | *Ctenodiscus* | *Ctenodiscus crispatus* |

*Annexe 1. Suite.*
*Appendix 1. Continued.*

| Phylum | Classe / Class | Ordre / Order | Famille/Family | Genre / Genus | Espèce / Species |
|---|---|---|---|---|---|
| *Echinodermata* | *Asteroidea* | *Valvatida* | *Goniasteridae* | *Ceramaster* | *Ceramaster granularis* |
| | | | | *Hippasteria* | *Hippasteria phrygiana* |
| | | | | *Pseudarchaster* | *Pseudarchaster parelii* |
| | *Holothuroidea* | *Dendrochirotida* | *Cucumariidae* | *Cucumaria* | *Cucumaria frondosa* |
| | | | *Psolidae* | *Psolus* | *Psolus fabricii* |
| | | | | | *Psolus panthapus* |
| | | *Molpadiida* | *Molpadiidae* | *Molpadia* | *Molpadia* |
| | *Ophiuroidea* | *Phrynophiurida* | *Gorgonocephalidae* | *Gorgonocephalus* | *Gorgonocephalus arcticus* |
| | | *Ophiurida* | *Ophiactidae* | *Ophiopholis* | *Ophiopholis aculeata* |
| | | | *Ophiocanthidae* | *Ophiacantha* | *Ophiacantha bidentata* |
| | | | *Ophiuridae* | *Ophiura* | *Ophiura sarsi* |
| | | | | | *Ophiura robusta* |
| | | *Phrynophiurida* | *Ophiomyxidae* | *Ophioscolex* | *Ophioscolex glacialis* |
| | *Echinoidea* | *Spantagoida* | *Schizasteridae* | *Brisaster* | *Brisaster fragilis* |
| | | *Echinoida* | *Strongylocentrotidae* | *Strongylocentrotus* | *Strongylocentrotus sp.* |
| | | *Clypeasteroida* | *Echinarachiidae* | *Echinarachnius* | *Echinarachnius parma* |
| | *Crinoidea* | *Comatulida* | *Antedonidae* | *Antedon* | *Antedon bifida* |
| *Ectoprocta* | *Articulata* | *Terebratulida* | *Cancellothyridi-dae* | *Terebratulina* | *Terebratulina septentrionalis* |
| | | *Rhynchonellacea* | *Hemithyrididae* | *Hemithiris* | *Hemithiris psittacea* |
| | *Gymnolaemata* | *Cheilostomata* | *Scrupocellariidae* | *Caberea* | *Caberea ellisii* |
| | | | *Stomachestoselli-dae* | *Posterula* | *Posterula sarsi* |
| *Mollusca* | *Bivalvia* | *Veneroida* | *Astartidae* | *Astarte* | *Astarte sp*<br>*Astarte crenata subequilatera* |
| | | | | | *Astarte castanea*<br>*Astarte borealis*<br>*Astarte montagui*<br>*Astarte undata* |
| | | | *Cardiidae* | *Clinocardium* | *Clinocardium ciliatum* |
| | | | | *Cyclocardia* | *Cyclocardia borealis* |
| | | | *Mesodesmatidae* | *Mesodesma* | *Mesodesma deauratum* |
| | | | *Tellinidae* | *Macoma* | *Macoma sp.* |
| | | *Myoida* | *Hiatellidae* | *Hiatella* | *Hiatella arctica* |
| | | | *Myidae* | *Mya* | *Mya truncata* |
| | | *Arcoida* | *Arcidae* | *Bathyarca* | *Bathyarca pectunculoides* |

*Annexe 1. Suite.*
*Appendix 1. Continued.*

| Phylum | Classe / Class | Ordre / Order | Famille/Family | Genre / Genus | Espèce / Species |
|---|---|---|---|---|---|
| *Mollusca* | *Bivalvia* | *Mytiloida* | *Mytilidae* | *Mytilus* | *Mytilus edulis* |
| | | | | *Musculus* | *Musculus niger* |
| | | *Nuculoida* | *Nuculidae* | *Nucula* | *Nucula sp.* |
| | | | *Yoldiidae* | *Megayoldia* | *Megayoldia thraciaeformis* |
| | | | | *Yoldia* | *Yoldia myalis* |
| | | *Ostreoida* | *Pectinidae* | *Chlamys* | *Chlamys islandica* |
| | | | | *Placopecten* | *Placopecten magellanicus* |
| | | | | *Delectopecten* | *Delectopecten vitreus* |
| | | *Pholadomyoida* | *Cuspidariidae* | *Cuspidaria* | *Cuspidaria glacialis* |
| | *Gastropoda* | *Neogastropoda* | *Buccinidae* | *Buccinum* | *Buccinum sp.* |
| | | | | | *Buccinum plectrum* |
| | | | | | *Buccinum totteni* |
| | | | | | *Buccinum undatum* |
| | | | | *Plicifusus* | *Plicifusus cretaceus* |
| | | | | *Colus* | *Colus sp.* |
| | | | | | *Colus pubescens* |
| | | | | | *Colus stimpsoni* |
| | | | | | *Colus pygmaeus* |
| | | *Neogastropoda* | *Buccinidae* | *Neptunea* | *Neptunea sp* |
| | | | | | *Neptunea brevicauda* |
| | | *Archaegastropoda* | *Trochidae* | *Solariella* | *Solariella obscura* |
| | | *Cephalaspidea* | *Cylichnidae* | *Scaphander* | *Scaphander sp.* |
| | | *Neogastropoda* | *Muricidae* | *Boreotrophon* | *Boreotrophon clathratus* |
| | | | | | *Boreotrophon truncatus* |
| | | *Archaeogastropoda* | *Calliostomatidae* | *Calliostoma* | *Calliostoma occidentale* |
| | | | *Trochidae* | *Margarites* | *Margarites sp.* |
| | | | | | *Margarites costalis* |
| | | | | | *Margarites groenlandicus* |
| | | *Nudibranchia* | *Chromodorididae* | *Cadlina* | *Cadlina laevis* |
| | | | *Polyceridae* | *Palio* | *Palio dubia* |
| | | | *Dendronotidae* | *Dendronotus* | *Dendronotus frondosus* |
| | | *Cephalaspidea* | *Haminoeidae* | *Haminoe* | *Haminoe solitaria* |
| | | *Neotaenioglossa* | *Naticidae* | *Euspira* | *Euspira pallida* |

*Annexe 1. Suite.*
*Appendix 1. Continued.*

| Phylum | Classe / Class | Ordre / Order | Famille/Family | Genre / Genus | Espèce / Species |
|---|---|---|---|---|---|
| *Mollusca* | *Gastropoda* | *Neotaenioglossa* | *Naticidae* | *Polinices* | *Polinices heros* |
| | | | | | *Polinices immaculatus* |
| | | *Neotaenioglossa* | *Velutinidae* | *Velutina* | *Velutina undata* |
| | | | *Aporrhaididae* | *Aporrhais* | *Aporrhais occidentalis* |
| | | | *Turritellidae* | *Turritella* | *Turritella aigue* |
| | *Polyplacophora* | *Neoloricata* | *Ischnochitonidae* | *Tonicella* | *Tonicella rubra* |
| *Porifera* | | | | | |
| *Sipuncula* | | | *Golfingiidae* | *Golfingia* | *Golfingia sp* |
| | | | | | *Golfingia margaritacea* |
| | | | *Phascolosomatidae* | *Phascolosoma* | *Phascolosoma sp* |
| *Nemertea* | | | | | |